

Requested Patent: EP0595726A1

Title:

PHASE SHIFTER FOR ELECTROMAGNETIC WAVES AND APPLICATION IN AN ANTENNA WITH ELECTRONIC SCANNING. ;

Abstracted Patent: EP0595726 ;

Publication Date: 1994-05-04 ;

Inventor(s):

FRIEDRICH ALAIN THOMSON-CSF (FR); CHEKROUN CLAUDE THOMSON-CSF (FR); DOREY JACQUES THOMSON-CSF (FR) ;

Applicant(s): THOMSON CSF (FR) ;

Application Number: EP19930402667 19931029 ;

Priority Number(s): FR19920013019 19921030 ;

IPC Classification: H01Q3/46; H01Q3/26 ;

Equivalents: FR2697679 ;

ABSTRACT:

This phase shifter for electromagnetic waves comprises at least one phase shifter element (CO, PH) lying between two conducting lines (L1, L'1). The phase-shifter element is oriented along a defined direction and includes a photoconductor element (PH) which is made to conduct on demand by an optical beam (O). The electromagnetic wave (H) propagates along a direction which is not collinear with the orientation direction of the phase-shifter element. Applications: control of a scanning antenna.



⑪ Numéro de publication : **0 595 726 A1**

⑫

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt : **93402667.5**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup> : **H01Q 3/46, H01Q 3/26**

㉔ Date de dépôt : **29.10.93**

㉓ Priorité : **30.10.92 FR 9213019**

④③ Date de publication de la demande :  
**04.05.94 Bulletin 94/18**

⑧④ Etats contractants désignés :  
**DE GB**

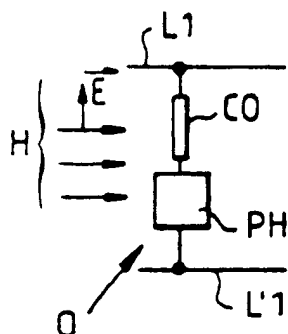
㉑ Demandeur : **THOMSON-CSF**  
**173, Boulevard Haussmann**  
**F-75008 Paris (FR)**

㉒ Inventeur : **Friedrich, Alain, Thomson-CSF**  
**SCPI, B.P. 329**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**  
Inventeur : **Chekroun, Claude, Thomson-CSF**  
**SCPI, B.P. 329**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**  
Inventeur : **Dorey, Jacques, Thomson-CSF**  
**SCPI, B.P. 329**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**

㉒ Mandataire : **Guérin, Michel et al**  
**THOMSON-CSF SCPI B.P. 329 50, rue**  
**Jean-Pierre Timbaud**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**

⑤④ **Déphaseur d'ondes électromagnétiques et application à une antenne à balayage électronique.**

⑤⑦ Ce déphaseur d'ondes électromagnétiques comprend au moins un élément déphaseur (CO, PH) compris entre deux lignes conductrices (L1, L'1). L'élément déphaseur est orienté selon une direction déterminée et comporte un élément photoconducteur (PH) qui est rendu conducteur sur commande par un faisceau optique (O). L'onde électromagnétique (H) se propage selon une direction non colinéaire avec la direction d'orientation de l'élément déphaseur.  
Applications : Commande d'antenne à balayage.



**FIG. 2a**

L'invention concerne un déphaseur d'ondes électromagnétiques (hyperfréquences) et son application à une antenne à balayage électronique et plus particulièrement une antenne à balayage électronique à commande optique.

Les antennes à balayage électronique sont connues dans la technique. Elles sont constituées d'un ensemble d'éléments déphaseurs qui, recevant une onde hyperfréquence, agissent chacun séparément sur la phase de l'onde hyperfréquence. Chaque élément déphaseur retransmet une onde qui peut être déphasée par rapport aux ondes transmises par les autres éléments déphaseurs. L'ensemble des éléments déphaseurs peut être considéré comme un ensemble de sources élémentaires hyperfréquences émettant des faisceaux déphasés entre eux. L'interférence des différentes ondes émises donne lieu à un front d'onde dont la direction de propagation dépend des déphasages relatifs des différentes sources élémentaires. Ce fonctionnement est parfaitement connu dans la technique des antennes à balayage électronique.

La commande des éléments déphaseurs peut être analogique, chaque élément déphaseur pouvant alors induire un déphasage continûment variable sur commande et pouvant donc prendre toute valeur entre 0 et  $\pi$ .

La commande des éléments déphaseurs peut également être numérique. Chaque élément déphaseur peut alors induire des valeurs discrètes de déphasage. Selon la conception des éléments déphaseurs, chacune d'eux pourra induire 2 valeurs de déphasage (0 et  $\pi$  par exemple) ou 3 valeurs de déphasage (0,  $\frac{\pi}{2}$  et  $\pi$  par exemple), etc.

Selon une technique connue, un élément déphaseur peut être constitué d'un déphaseur à "iris". Le déphaseur comporte alors, entre deux lignes conductrices, une diode pouvant être rendue conductrice ou bloquante, selon la polarisation qui lui est appliquée. Selon la polarisation directe ou inverse de la diode, une onde hyperfréquence voit alors dans l'élément déphaseur, un élément inductif ou un élément capacitif. Ainsi, selon la polarisation de la diode on est capable d'induire deux déphasages différents sur une onde hyperfréquence.

L'inconvénient des systèmes existants est qu'il nécessite un câblage de commande des différentes diodes relativement important résultant du nombre de diodes (10 à 20.000 voire plus).

L'invention concerne un déphaseur et une antenne à balayage utilisant un tel déphaseur permettant de pallier cet inconvénient.

L'invention concerne donc un déphaseur d'onde électromagnétique comprenant deux lignes conductrices de l'électricité et au moins un élément déphaseur orienté selon une direction déterminée situé entre les deux lignes conductrices et connecté à ces lignes conductrices, caractérisé en ce que l'élément déphaseur comprend au moins un élément photoconducteur et que l'onde électromagnétique se propage selon une direction non colinéaire avec ladite direction déterminée.

L'invention concerne également un panneau déphaseur caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs déphaseurs disposés côte à côte, les éléments homologues des différents déphaseurs étant parallèles entre eux.

De plus, l'invention prévoit des moyens d'adressage optiques des éléments photoconducteurs.

Les différents objets et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement dans la description qui va suivre et dans les figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un panneau déphaseur connu dans la technique ;
- les figures 2a, 2b, un dispositif déphaseur selon l'invention ;
- la figure 3, un panneau déphaseur selon l'invention ;
- les figures 4a et 4b, un exemple de réalisation d'un élément déphaseur comportant un élément mémoire ;
- la figure 5, un exemple de réalisation d'un élément déphaseur comportant un phototransistor ;
- les figures 6a à 6b, des exemples de réalisation d'un panneau déphaseur selon l'invention ;
- la figure 7, une variante de réalisation d'un élément déphaseur selon l'invention ;
- les figures 8 et 9, des dispositifs d'adressage d'un panneau déphaseur par déviation d'un faisceau optique ;
- la figure 10, un dispositif d'adressage d'un panneau déphaseur à l'aide d'un modulateur spatial ;
- la figure 11, une variante de réalisation découlant des dispositifs des figures 8 à 10 ;
- la figure 12, un dispositif de commande optique d'un panneau déphaseur à l'aide d'un réseau de lasers à émission par la surface ;
- les figures 13a à 13d, des figures explicatives d'un exemple de réalisation numérique ;
- les figures 14, 15 et 16, des variantes d'association d'éléments déphaseurs.

Dans la technique, il est connu de réaliser un panneau déphaseur à diodes comme cela est décrit dans la Demande de Brevet français 69 35239. Un tel panneau comprend (voir figure 1) plusieurs éléments déphaseurs constitués chacun d'une diode D1 à D4. Chaque diode est commandée par des fils de commande tels que L1 et L1' pour la diode D1. De façon préférentielle, les diodes et les fils de connexion les reliant aux fils de commande sont alignés selon une direction XX' de telle façon que la direction du champ électrique E d'une onde H électromagnétique à traiter par le panneau déphaseur soit parallèle à cette direction XX'.

Les fils de commande (L1, L'1) permettent de rendre conductrice ou bloquée chaque diode individuellement. On démontre qu'à l'état bloqué, les diodes présentent, à un onde incident, un circuit capacitif. Par contre à l'état passant, elles présentent une impédance comportant une inductance. Différents circuits à diodes permettent donc d'induire sur une onde incidente des déphasages différents. En réglant ces déphasages selon une loi déterminée (une progression par exemple), on peut obtenir une déviation du faisceau traversant l'ensemble de diode. C'est ce qui est schématisé sur la figure 1 où le front d'onde résultant a été dévié d'un angle  $\alpha$  et donc la direction de propagation de l'onde E' est déviée d'un angle  $\theta$ .

L'invention permet de s'affranchir des problèmes de connectiques liés à la commande des diodes.

Selon l'invention, un élément déphaseur comporte un élément photoconducteur qui, lorsqu'il est éclairé par un faisceau optique, est rendu conducteur.

Par exemple, la figure 2 représente un tel élément déphaseur comprenant un élément conducteur CO et un élément photoconducteur PH. L'élément photoconducteur est susceptible d'être rendu conducteur par le faisceau O. L'élément conducteur CO est orienté selon une direction déterminée et la direction de propagation l'onde électromagnétique H n'est pas colinéaire avec la direction d'orientation de l'élément CO. Pour un fonctionnement maximum de l'élément déphaseur, l'élément conducteur CO est orienté parallèlement au champ électrique E de l'onde électromagnétique H à traiter.

L'ensemble est connecté entre deux fils de connexion L1, L'1 contenus dans un même plan que l'élément conducteur CO et perpendiculaires à cet élément conducteur. Ces fils de connexion L1, L'1 permettent de connecter l'élément déphaseur à une source de tension ou à une impédance de charge non représentées.

La réalisation d'un panneau déphaseur se fait comme représenté en figure 3, en associant en parallèle entre des conducteurs A1, A'1 des éléments déphaseurs. Plusieurs lignes d'éléments déphaseurs sont ainsi disposés sur le trajet de l'onde électromagnétique H. L'invention prévoit de commander sélectivement chaque élément photoconducteur PH par un faisceau optique O.

Selon une variante de réalisation, selon les dimensions de l'élément déphaseur, celui peut ne comporter quasiment que l'élément photoconducteur qui est alors de préférence de forme allongée.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention l'élément photoconducteur est en matériau semiconducteur. Sous éclairage d'un rayonnement optique, il y a création dans le semiconducteur d'un nombre de photoporteurs qui localement est donné par la formule :

$$\Delta n = \phi \alpha \tau \eta$$

Cette formule est locale, dans le sens où elle ne concerne qu'une zone dont les dimensions sont bien inférieures à la longueur de diffusion des porteurs, et à la longueur d'absorption optique.

Dans cette formule on a :

$\phi$ : puissance optique/énergie du photon.

Par exemple : puissance optique : 1W/cm<sup>2</sup>

énergie du photon :  $h \nu = 1,6 \cdot 10^{-19}$

$\alpha$  : coefficient d'absorption 10<sup>4</sup> cm<sup>-1</sup>

Ge à lev : GaAs à 1,5eV ; Si à 2 eV ;

$\eta$  : efficacité quantique : typiquement de 10 % pour GaAs 50 Si

$\tau$  : durée de vie des porteurs photocréés qui est ajustable de 10<sup>-9</sup> à 10<sup>-3</sup> et dépend de la pureté (chiffre typique pour le Si = 10<sup>-3</sup>)

Par exemple, le nombre de porteurs photocréés peut être de 5.10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup>.

La profondeur de peau est donnée par la formule  $(f\eta)^2$  à 10 GHz pour un nombre de porteurs de 10<sup>21</sup> la profondeur de peau est de 0.3  $\mu$ m, pour 100 GHz, elle est de 0.03  $\mu$ m pour le même nombre d'électrons. Pour 5 10<sup>16</sup> porteurs ; la profondeur de peau sera de 5  $\mu$ m.

Les paramètres ajustables afin d'augmenter n le nombre de photoporteurs sont :

- la puissance optique
  - la longueur d'onde, versus le matériau pour augmenter l'efficacité quantique
  - le taux de recombinaison (qui joue aussi sur la longueur de diffusion  $(D\tau)^{1/2}$ )
- D étant la constante de diffusion.

Avec un taux de recombinaison de l'ordre de 10<sup>3</sup> pour le silicium intrinsèque par exemple, la longueur de diffusion devient de l'ordre de 1.5 mm ( $D = 2.5 \cdot 10^{-3}$  donc  $(D\tau)^{1/2} = 1.5 \cdot 10^{-3}$ ) ce qui veut par ailleurs dire qu'en une milliseconde, on remplit avec 10<sup>16</sup> porteurs un carré de 1.5 mm de côté.

Il est possible de limiter artificiellement la taille du plot photoactivé par lithographie (quelques dizaines de microns). Il est aussi possible de jouer sur les recombinaisons aux bords pour changer les temps de réponse et de déclin de la photoconductivité.

La figure 2b représente une variante de réalisation selon laquelle la surface du photoconducteur recevant le faisceau optique O est gravée sous forme d'un réseau pour former un polariseur. On obtient, ainsi en gravant

des réseaux différents, certains points photoconducteurs qui sont commandés par la lumière polarisée selon une direction et d'autres points qui sont commandés par la lumière polarisée selon une direction orthogonale. On double ainsi le nombre de points de command indépendants.

5 On peut aussi prévoir des éléments photoc nducteurs de largeurs de bandes interdites différentes donc sensibles à des ph tons d'énergies différentes c qui permet de multiplier les degrés de liberté du système.

Un panneau déphaseur tel que représenté en figure 3 se présente sous la forme d'une grille dont chaque élément déphaseur a pour dimension une demie longueur d'onde.

10 La configuration d'une telle grille (pas, largeur des traits, coupures) défini le mode de couplage (capacitif ou inductif) avec l'onde hyper.

A partir de cette configuration générale, l'invention prévoit différents modes de réalisation.

Selon un autre mode de réalisation qui correspond à la figure 3, chaque élément déphaseur comporte un élément photoconducteur et un élément conducteur.

On utilise ici essentiellement les propriétés de commutation du photoconducteur.

15 Avec un silicium très pur, on peut avoir un saut d'au moins quatre ordres de grandeurs. On pré-configue à l'aide de segments métalliques la lentille (ou le plan des phases), les zones photoconductrices sont situées aux interconnexions, elles sont éventuellement délimitées pour tenir compte de la diffusion des porteurs.

20 On peut aussi utiliser des phototransistors aux noeuds des réseaux pour avoir des résistivités locales plus faibles, il est vraisemblable qu'une "stratégie" de ce genre ne pourra pas être compatible avec des changements de polarisation du champ électrique hyperfréquence (lignes d'alimentations des transistors) sauf à considérer une double galette.

25 L'utilisation d'un point de commutation électronique permet d'intégrer des fonctions mémoires (bascule, point Si c mémoire) cette possibilité permet d'envisager le fonctionnement impulsionnel de la source lumineuse et un balayage avec deux miroirs orthogonaux pour balayer un laser. L'invention prévoit également d'associer un point mémoire électroluminescent à un photoconducteur et d'utiliser la bistabilité de ce système (remise à zéro par suppression de la tension).

Un tel élément déphaseur est alors tel que représenté figures 5a et 5b.

Un élément photoconducteur PH comporte un élément photoconducteur PH1 et un élément électroluminescent EL1.

30 Une tension permanente de commande V est appliquée aux conducteurs A1 et A'1. Lorsqu'on éclaire l'élément photoconducteur PH1, sa résistance diminue. La tension aux bornes de l'élément électroluminescent EL1 augmente. L'élément électroluminescent EL1 émet de la lumière qui éclaire l'élément photoconducteur PH1 et qui garde alors sa valeur de résistance faible. L'élément déphaseur, tel que celui de la figure 5a, reste dans la situation commandée. Pour le faire revenir en position initiale, il suffit de supprimer la tension de commande V.

35 On voit donc qu'un tel dispositif peut être commandé par une impulsion lumineuse dont il suffit que la durée soit suffisante pour commander l'élément électroluminescent.

La figure 5c représente un élément déphaseur comportant un transistor Tr dont le circuit de commande comporte un élément photoconducteur PH. Une ligne hyperfréquence est en série avec le transistor Tr.

40 Les éléments déphaseurs d'un panneau déphaseur peuvent être réalisés sur une face 10 d'une plaque de diélectrique DI (figure 6a). Cette plaque est transparente aux ondes hyperfréquences et le panneau déphaseur fonctionne en transmission.

Selon la figure 6b, on peut métalliser la face 11 de la plaque DI opposée à la face 10. Les ondes hyperfréquences se réfléchissent sur cette métallisation et le panneau déphaseur fonctionne en réflexion.

45 La face 11 peut également supporter tout autre moyen de réflexion, autre qu'une métallisation ME, tel qu'un réseau de réflexion (réseau de fils métalliques).

50 La figure 6c, représente une autre variante de réalisation selon laquelle la face 11 supporte un deuxième panneau déphaseur. Cela permet soit d'augmenter les combinaisons de déphasages, l'onde hyperfréquence voyant successivement deux couches d'éléments déphaseurs ; soit de prévoir le panneau déphaseur de la face 10 pour déphaser un champ électrique orienté selon une direction et le panneau déphaseur de la face 11 pour déphaser le champ électrique orthogonal.

Un élément déphaseur peut également être constitué d'un empilement de plusieurs éléments photoconducteurs.

55 Notamment, la figure 7 représente un élément déphaseur comportant de part et d'autre d'un support DI (diélectrique par exemple) des couches PHI et PHII photoconductrices. On prévoit l'épaisseur du support DI égale à une demi-longueur hyperfréquence à traiter.

Un tel élément peut être commandé optiquement par des faisceaux FI, FII provenant de sources situées de part et d'autre de l'élément déphaseur. Il peut également être commandé par des faisceaux provenant de sources situées d'un même côté par rapport à l'élément déphaseur, le support DI étant alors transparent aux

ondes optiques de commande.

Le dispositif selon l'invention étant commandé optiquement, lorsqu'on dispose plusieurs éléments déphaseurs pour constituer un panneau déphaseur, il convient de prévoir un système permettant de commander sélectivement chaque élément déphaseur.

On va maintenant décrire différents systèmes d'adressages optiques d'un panneau déphaseur.

L'adressage des différents points, avec par exemple un laser, peut se faire sur les différents points de commutation photoconducteurs en utilisant un double système de balayage vertical et horizontal (miroirs, déflecteurs XY photoacoustiques ou électrooptiques). On peut alors prévoir une fonction de mémorisation commandable près du point de commutation.

Comme cela est représenté par la figure 8, le laser SO éclaire un premier miroir M1 mobile autour d'un axe de rotation parallèle à un axe OX. La lumière est réfléchie sur un deuxième miroir M2 mobile autour d'un axe de rotation parallèle à un axe OY perpendiculaire à l'axe OX. Le panneau déphaseur DPH est situé parallèlement à l'axe OXY de façon que le faisceau provenant du laser SO balaie toute la surface du panneau déphaseur.

Les miroirs M1 et M2 peuvent être également réalisés sous forme de déflecteurs photoacoustiques DA1, DA2 qui permettent d'explorer le panneau déphaseur à une cadence de 10 ns par point par exemple. Ces déflecteurs sont représentés en figure 9.

La figure 10 représente un système d'adressage à l'aide d'un modulateur spatial de lumière MSL, ce modulateur comporte un ensemble de modulateurs élémentaires commandables individuellement. De préférence, chaque modulateur élémentaire permet, selon la commande qu'il reçoit, de retransmettre tout ou partie de la lumière provenant de la source SO, vers une zone déterminée du panneau déphaseur DPH et notamment vers un élément déphaseur particulier du panneau déphaseur. De cette façon, à chaque élément du modulateur spatial MSL est associé un élément du panneau déphaseur.

Selon un mode de réalisation, le modulateur spatial MSL est un écran à cristal liquide qui permet ainsi d'afficher l'état de commande du panneau déphaseur.

De plus, il est possible de prévoir entre le modulateur spatial MSL un réseau de lentilles LE permettent de focaliser chaque faisceau issu d'un élément du modulateur vers un élément du panneau déphaseur. La réalisation d'un tel réseau de lentilles est connu dans la technique.

A titre d'exemple, les dimensions du modulateur spatial de lumière pourront être de 50 x 50 mm de même que le panneau déphaseur. Chacun de ces dispositifs pourra être constitué de 100 x 100 éléments de dimensions 0,5 x 0,5 mm environ.

Le réseau de lentilles peut être réalisé en holographie.

Selon l'invention on prévoit également de combiner un éclairage par balayage et par l'intermédiaire d'un modulateur spatial de lumière.

La puissance optique nécessaire pour commuter un photoconducteur est plus directement accessible par impact direct laser. L'adressage direct d'un élément à rendre conducteur, par exemple à l'aide de déflecteurs photoacoustiques peut être limité en nombre de points et en précision. La solution représentée en figure 11 résout ces problèmes, car elle utilise un modulateur spatial MSL comme masque reconfigurable projeté sur le réseau de lentilles L2. La déflexion photoacoustique servant seulement à défléchir le faisceau laser. Cette solution nécessite l'intégration d'une fonction mémoire au niveau du pixel photoconducteur.

Le système de la figure 11 comporte une lentille cylindrique L1 permettant d'éclairer à l'aide de la source SO, le déflecteur électroacoustique DA qui effectue une déflexion selon une direction X ou Y. Une lentille L3 permet d'augmenter la divergence du balayage acousto-optique. Le modulateur spatial MSL est ainsi balayé par une nappe lumineuse dont la déflexion peut être rapide. Une lentille de concentration L2 ou un réseau de lentille focalise les faisceaux issus du modulateur MLS sur le panneau déphaseur DPH.

Selon une variante de réalisation représentée en figure 12, le système d'éclairage du panneau déphaseur peut comporter un réseau de lasers émettant par la surface. Avec des éléments de dimension 10 x 10  $\mu\text{m}$ , les puissances peuvent être de 10<sup>5</sup> W/cm<sup>2</sup> avec un angle de divergence faible (1 degré par exemple).

Un tel système ne nécessite pas de lentilles. Cette situation est favorable pour éclairer par la face avant le photoconducteur.

Un autre facteur important est le faible courant de seuil de ce type de laser, il est de l'ordre de 1mA. Pour une matrice de 10<sup>5</sup> lasers, il faut donc 100A, la tension d'attaque est de l'ordre du volt, soit la centaine de Watts dans le pire des cas.

Avec un laser à émission surfacique, il est possible d'avoir deux longueurs d'ondes d'émission différentes. Il sera donc possible d'adresser séquentiellement deux couches de photoconducteurs de gaps différents, situés l'un sur l'autre, le grand gap étant devant.

L'invention peut être appliquée avantageusement aux antennes à balayage électronique dans le domaine millimétrique et submillimétrique.

Les principales simplifications étant :

- l'absence de composants hyperfréquences tels que les diodes PIN
- l'absence de circuits de commande des déphaseurs avec leurs connectiques associées qui sont les éléments essentiels contribuant fortement au prix des antennes à balayage électronique.

L'invention a comme application la réalisation d'antennes à balayage électronique en réflexion. Ces antennes se présentent sous forme d'une mince couche diélectrique métallisée sur une face, et gravée de motifs périodiques sur l'autre face. Le motif élémentaire est formé d'un déphaseur à iris dans un guide mince court-circuité ; le guide étant formé par des lignes de trous métallisés (cette dernière condition n'étant pas toujours nécessaire).

En se reportant aux figures 13a à 13d, on va décrire un exemple numérique du système.

Le schéma simplifié en ligne d'un déphaseur est représenté en figure 13a.

$$Z = 377b/a \frac{\lambda g}{\lambda} \text{ avec } \lambda g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}$$

L'admittance normalisée dans le plan de sortie étant :

$$Y_1 = G_1 + j B_1 - j \cotg 2\pi \lambda / \lambda g$$

et le coefficient de réflexion :

$$\rho_1 = \frac{1 - j Y_1}{1 + j Y_1}$$

en choisissant la longueur  $l$ , et les valeurs de  $B$  selon l'état du déphaseur, on obtient l'état de phase du déphaseur :

$$(\phi_1 = 2 \operatorname{artg} Y_1)$$

Le schéma équivalent du réseau peut être représenté par la figure 13b.

On montre par exemple, que dans les conditions :

$$L C_1 \omega^2 = 1 \text{ lorsque la photodiode n'est pas conductrice}$$

et

$$L C_1 \omega^2 = 1 \text{ lorsque la photodiode est conductrice.}$$

D'autre part, les pertes du déphaseur étant fonction de la résistance hyperfréquence lorsque les photodiodes sont conductrices et de la tangente de fuite du silicium lorsque les photodiodes ne sont pas conductrices :

$$\text{Pertes directes (dB)} = \frac{20}{23} C_1 \omega [\operatorname{tg} \delta + R C_1 \omega]$$

$$\text{Pertes inverses (dB)} = \frac{20}{23} \frac{\operatorname{tg} \delta}{C_1 \omega}$$

Ces deux paramètres avec la capacité de la diode équivalente vont dimensionner les éléments caractéristiques du semiconducteur choisi.

Considérons une coupure sur un semiconducteur de type silicium comme cela est représenté sur la figure

13c.

Pour déterminer la capacité hyperfréquence équivalente, il nous faut considérer l'effet de peau  $\lambda_0$  qui dépend du dopage du semiconducteur.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_R \rho \frac{\delta_i}{W} = \epsilon_0 \epsilon_R \frac{\rho}{W} \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \rho_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \mu_A \eta e}}$$

$\mu_A$  : mobilité ambipolaire

$n_i$  : charge par unité de volume/cm<sup>3</sup>

$e$  : charge de l'électron

$\epsilon_R$  : constante diélectrique du silicium

$f_c$  : fréquence de l'onde hyperfréquence incidente

Pour déterminer la résistance hyperfréquence équivalente, il nous faut également considérer l'effet de peau, différent du fait des charges photoélectriques injectées.

$$R = \frac{1}{2 \mu_B n_D e} \cdot \frac{W}{f \cdot \delta_D} = \frac{W}{\lambda} \frac{\sqrt{\pi f_0 \mu_0}}{\sqrt{2 \mu_B \cdot n_D e}}$$

$\mu_B$  : mobilité ambipolaire

$n_D$  : charg injectées par unité de volume

Les deux autres paramètres nécessaires aux réglages du déphaseur étant la capacité d'iris et la s lf.

La capacité d'iris étant donnée par les formules classiques :

$$C_i = -\frac{4b}{\lambda g} \log_e \left( \sin \left( \frac{\pi d}{2b} \right) \right)$$

5

et la self  $L = 0.0033 \text{ nH}$

$L$  : self en nano henry

$li$  : longueur en nm (dans ces conditions  $li = d$ )

10 • avec un  $W/l = 1$  ( $W = 1$  semble nécessaire pour l'homogénéité du pixel)

• avec un substrat de dopage  $N = 10^{15}/\text{cm}^3$ ,  $\mu_a = 1000 \text{ cm}^2/\text{VS}$ , on trouve une capacité

$C = 0.03 \text{ 10-12 pF}$

avec un nombre de charges injectées  $N = 10^{18}/\text{cm}^3$ ,  $\mu_B = 250 \text{ cm}^2/\text{VS}$ , la résistance hyperfré-

15 quence est de  $R = 6,7 \Omega$

• Avec  $1 \text{ W}/\text{cm}^2$ , on crée  $5 \cdot 10^{18}$  porteurs, avec un laser pointé, on peut atteindre des puissances optiques

de  $10^3 \text{ W}/\text{cm}^2$  (laser de  $100 \text{ mW}$ ). On peut donc obtenir un chiffre de  $10^{18}$  porteurs.

• On peut aussi garder la mobilité d'origine, soit  $1000 \text{ cm}^2/\text{VS}$ .

Avec ces valeurs  $R = 3.5 \text{ ohms}$ .

La mise en réseau permet donc de constituer une antenne à balayage électronique en réflexion.

20 Pour permettre la commande optique des déphaseurs selon l'invention on remplace le plan de court-circuit, par un réseau de fils continus "serrés" au pas de  $\lambda g/10$ , ce qui correspond sensiblement à une distance de  $100 \mu\text{m}$ . Cette distance doit être choisie de telle manière qu'elle corresponde à un sous multiple de la distance

entre diodes. Cette condition fixe  $W = 1 = 50 \mu\text{m}$  (dimension de chaque élément déphaseur).

25 Une source hyperfréquence, correspond à un cornet monopulsé et placé à une distance  $F/D \sim 1$  ( $F$

distance de la source,  $D$  dimension de la lentille).

La lentille pilotée "optiquement" permet la focalisation de l'onde et la déflexion de l'onde sur une ouverture

angulaire correspondant à un cône de  $120^\circ$ , l'espacement entre sources étant très proche de  $\frac{\lambda}{2}$  ( $\lambda$  dans l'air).

Nous résumons à titre d'exemple des performances d'une antenne selon l'invention :

- 30
- Dimension  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$
  - Bande de fréquence  $94 \text{ GHz} \pm 4 \text{ GHz}$
  - Gain  $39 \text{ dB}$
  - Couverture angulaire cône  $120^\circ$
  - Gain dans la couverture  $G = G_0 \cos^{1.50}$

35 - Lobes secondaires :

1er lobe  $25 \text{ dB}$

Diffus -  $10 \text{ dB}$

- Temps de commutation (dépendant de l'optique)

40 L'antenne peut être à bipolarisation, en remplaçant le motif à iris, par un motif généralisé tel que représenté en figure 14.

Chaque élément déphaseur possède quatre éléments photoconducteurs  $Di1$ ,  $Di'1$ ,  $Di2$ ,  $Di'2$ . Ces éléments sont réalisés sur une face d'un substrat. Chaque élément telle que  $Di1$  est connectée à des plots conducteurs  $C1$ ,  $C'1$  qui permettent de réaliser des connexions à travers le substrat vers des conducteurs situés sur l'autre

45 face du substrat et équivalents aux conducteurs  $L1$ ,  $L'1$  de la figure 1.

Les éléments  $Di1$ ,  $Di'1$  permettent de traiter une composante de la direction de polarisation de l'onde hyperfréquence.

Les éléments  $Di2$ ,  $Di'2$  permettent de traiter la composante orthogonale de la direction de polarisation.

L'élément central  $EC$  est un élément d'adaptation capacitif.

50 Les figures 15 et 16 représentent une variante de réalisation du déphaseur de la figure 14. Dans cette variante, un plot conducteur est commun à deux éléments photoconducteurs, le plot  $Ci1$  est commun aux éléments  $Di'1$  et  $Di2$  par exemple, le plot  $Ci2$  pour les éléments  $Di'1$  et  $Di2$ , etc...

Les plots diamétralement opposés sont interconnectés par des interconnexions  $IX1$ ,  $IX2$ . Chaque interconnexion est connectée à une extrémité d'une impédance de charge, ou à des conducteurs tels que les conducteurs  $L1$  et  $L'1$  de la figure 2a.

55

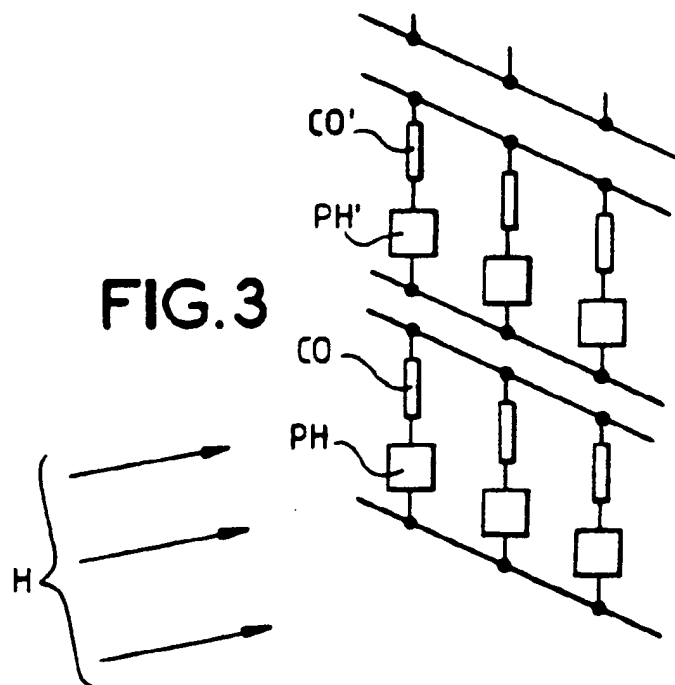
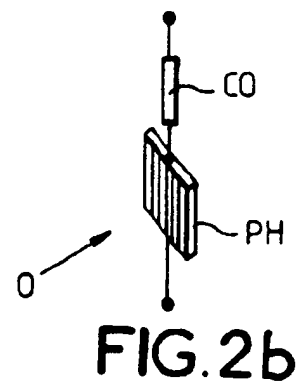
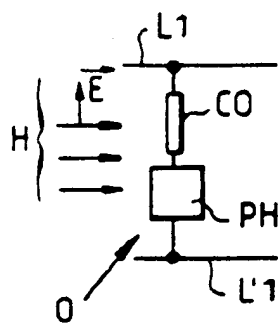
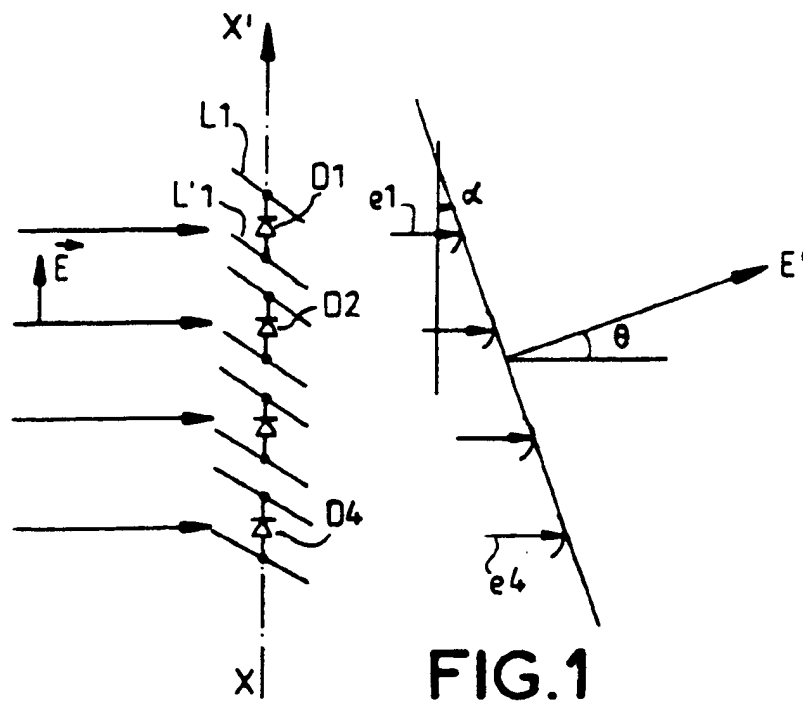
## Revendications

1. Déphaseur d'onde électromagnétique comprenant deux lignes conductrices de l'élément central et au moins



- un élément déphaseur orienté selon une direction déterminée, situé entre les deux lignes conductrices et connecté à ces lignes conductrices, caractérisé en ce que l'élément déphaseur comprend au moins un élément photoconducteur et que l'onde électromagnétique se propage selon une direction non colinéaire avec ladite direction déterminée.
2. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un élément conducteur situé en série avec l'élément de commutation.
  3. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lignes conductrices sont parallèles et que l'élément de commutation est situé selon une direction perpendiculaire aux lignes conductrices.
  4. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deux lignes conductrices sont placées entre deux plans parallèles comportant des éléments conducteurs et isolés des lignes conductrices.
  5. Déphaseur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les plans parallèles comportent des surfaces conductrices.
  6. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte également un élément électroluminescent connecté en série avec l'élément photoconducteur et associé à l'élément photoconducteur de façon à ce que la lumière qu'il émet éclaire l'élément photoconducteur et en ce qu'une source de tension de commande est connectée aux lignes conductrices.
  7. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif mémoire électronique associé à chaque élément photoconducteur.
  8. Déphaseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les lignes conductrices et l'élément photoconducteur sont situés sur une première face principale d'une plaque en matériau diélectrique.
  9. Déphaseur selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une deuxième face principale de la plaque diélectrique opposée à la première face supporte des moyens de réflexion hyperfréquence.
  10. Déphaseur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de réflexion comportent une surface métallisée.
  11. Déphaseur selon l'une des revendications 3 ou 9, caractérisé en ce que les moyens de réflexion comportent un réseau de fils conducteurs parallèles à la direction de l'élément photoconducteur.
  12. Déphaseur selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'une deuxième face principale de la plaque diélectrique opposée à la première face supporte deux autres lignes conductrices et autre élément photoconducteur connecté à ces deux lignes électriques.
  13. Déphaseur selon la revendication 12, caractérisé en ce que les lignes électriques de la première face sont orthogonales à celles de la deuxième face et en ce que l'élément photoconducteur de la première face est perpendiculaire à celui de la deuxième face.
  14. Panneau déphaseur caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs déphaseurs selon l'une quelconque des revendications précédentes, disposés côte à côte des éléments homologues des différents déphaseurs étant parallèles entre eux.
  15. Panneau déphaseur selon la revendication 14, caractérisé en ce que les différents déphaseurs sont réalisés sur une même plaque en matériau diélectrique.
  16. Panneau déphaseur selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte une source optique commune à tout ou partie du panneau et permettant de commander les déphaseurs.
  17. Panneau déphaseur selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comporte entre la source optique et le panneau déphaseur au moins un dispositif de déflexion optique permettant de faire balayer la surface des éléments photoconducteurs du panneau déphaseur à l'aide du faisceau optique.
  18. Panneau déphaseur selon la revendication 17, caractérisé en ce que le dispositif de déflexion optique comporte au moins un miroir.

19. Panneau déphaseur selon la revendication 17, caractérisé en ce que le dispositif de déflexion optique comporte au moins un dispositif de déflexion acousto-optique.
- 5 20. Panneau déphaseur selon la revendication 18, caractérisé en ce que le dispositif de déflexion optique comporte deux miroirs en série sur le chemin du faisceau optique, les deux miroirs étant mobiles autour d'axes orthogonaux l'un de l'autre de façon à réaliser avec le faisceau, un balayage de la surface du panneau déphaseur selon deux axes de coordonnées.
- 10 21. Panneau déphaseur selon la revendication 19, caractérisé en ce que le dispositif de déflexion comporte, en série sur le chemin du faisceau optique, deux dispositifs acousto-optiques permettant de réaliser des déflexions selon des directions orthogonales.
- 15 22. Panneau déphaseur selon l'une des revendications 18 ou 19, caractérisé en ce que le faisceau optique a une section de forme allongée et que le dispositif de déflexion permet une déflexion selon une direction perpendiculaire à la plus grande dimension de la section du faisceau.
23. Panneau déphaseur selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il comporte un modulateur spatial de lumière placé entre la source optique et le panneau déphaseur.
- 20 24. Panneau déphaseur selon la revendication 23, caractérisé en ce que le modulateur spatial comporte autant d'éléments images que le panneau déphaseur comporte de déphaseurs.
- 25 25. Panneau déphaseur selon la revendication 23, caractérisé en ce que le faisceau optique a une section de forme allongée et en ce qu'il comporte un dispositif de déflexion optique permettant de défléchir le faisceau perpendiculairement à la plus grande dimension de la section du faisceau, de façon à explorer la surface du modulateur spatial de lumière.
26. Panneau déphaseur selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte un réseau de sources optiques commandables indépendamment et associées chacune à un déphaseur du panneau déphaseur.
- 30 27. Panneau déphaseur selon la revendication 26, caractérisé en ce que le réseau de sources optiques est un réseau de lasers à émission par la surface ou de diodes électroluminescentes.
- 35 28. Panneau déphaseur selon la revendication 26, caractérisé en ce qu'il comporte un réseau de lentilles à raison d'une lentille par source optique et permettant de focaliser chacune la lumière sur un déphaseur.
- 40 29. Panneau déphaseur selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux éléments photoconducteurs orientés selon une première direction et deux éléments photoconducteurs orientés selon une deuxième direction.



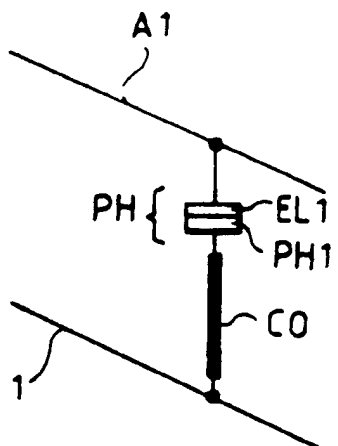


FIG. 4a

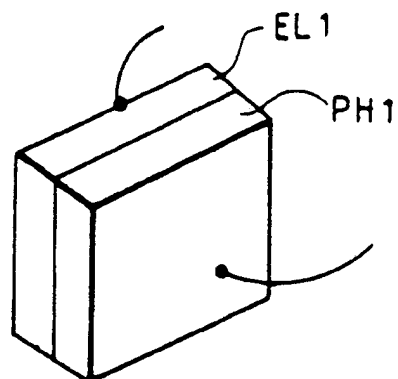


FIG. 4b

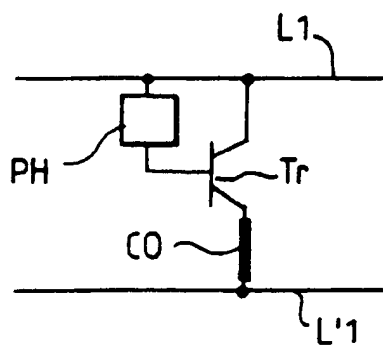


FIG. 5

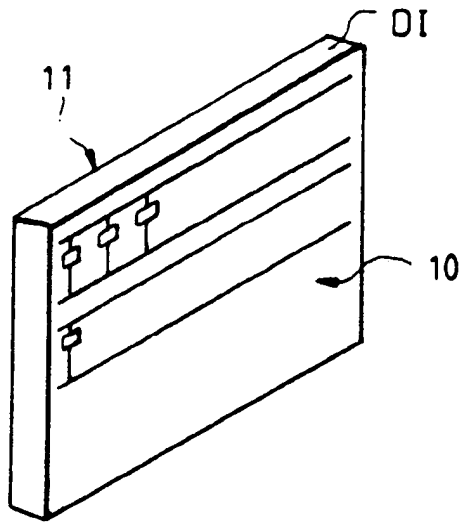


FIG. 6a

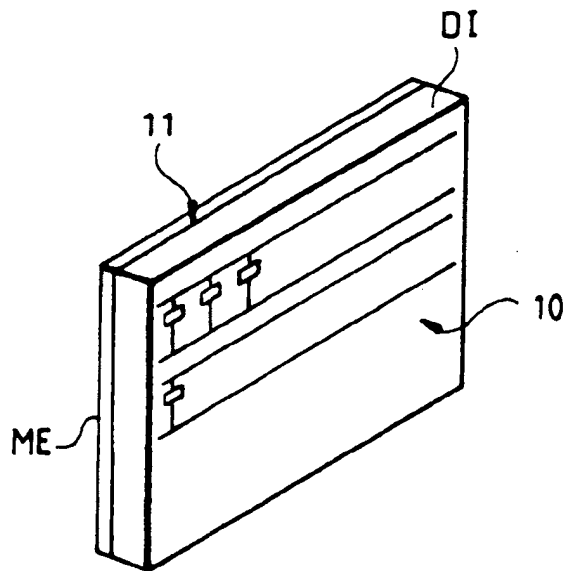


FIG. 6b

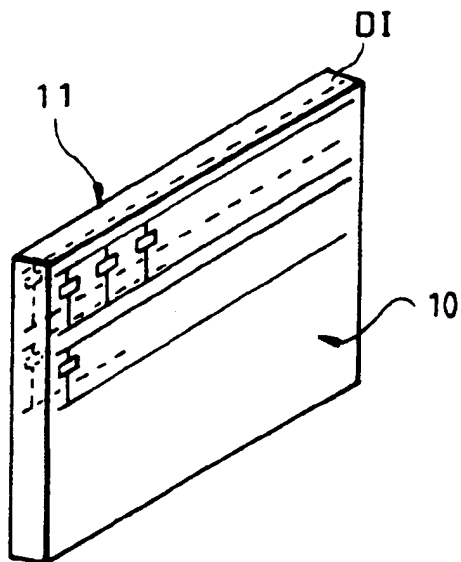


FIG. 6c

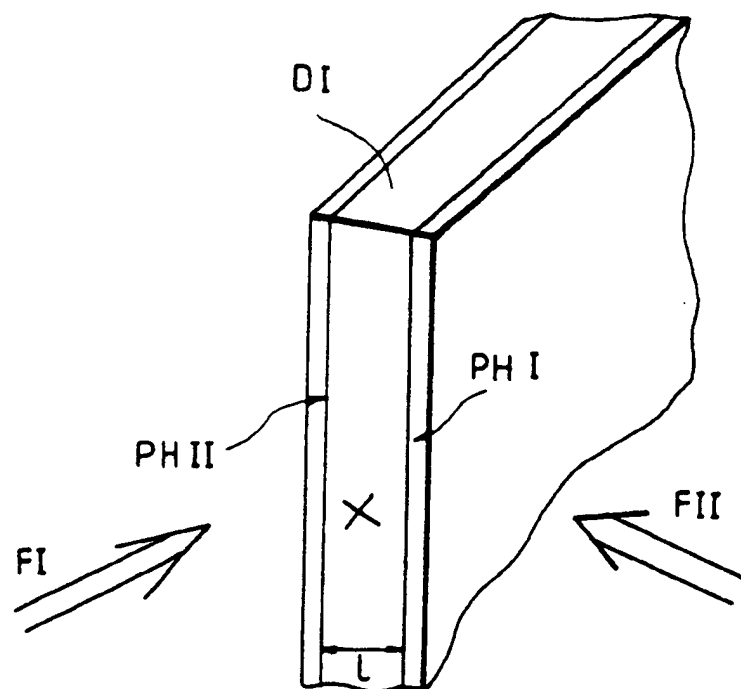


FIG. 7

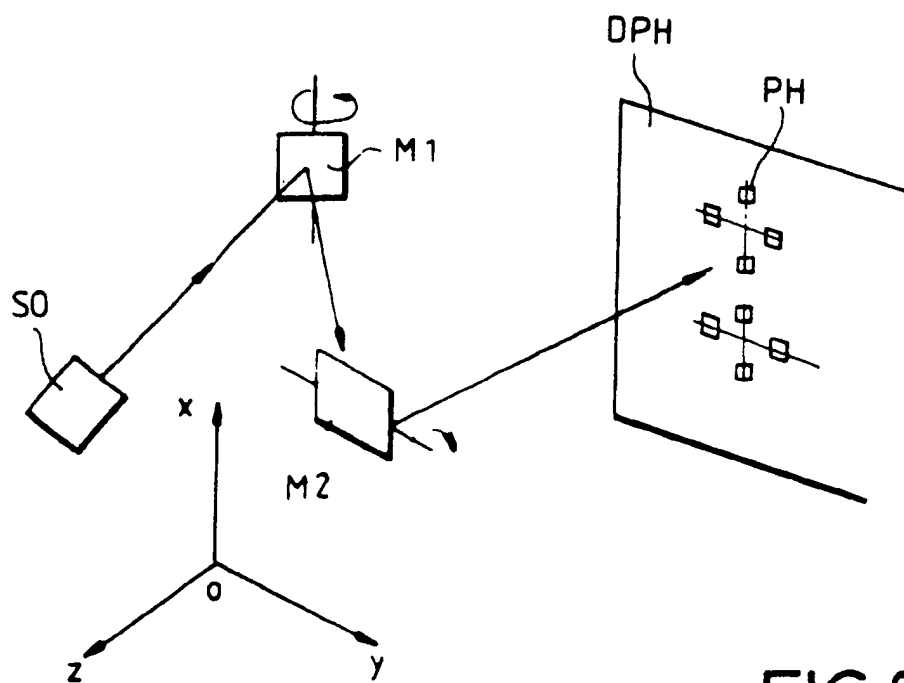


FIG. 8

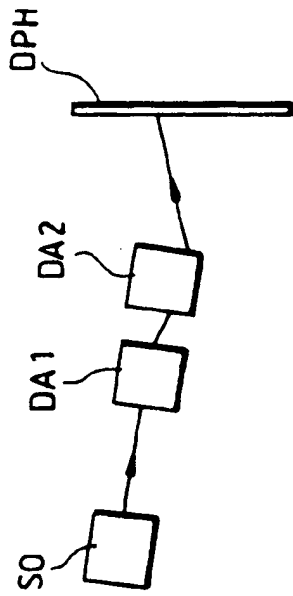


FIG. 9

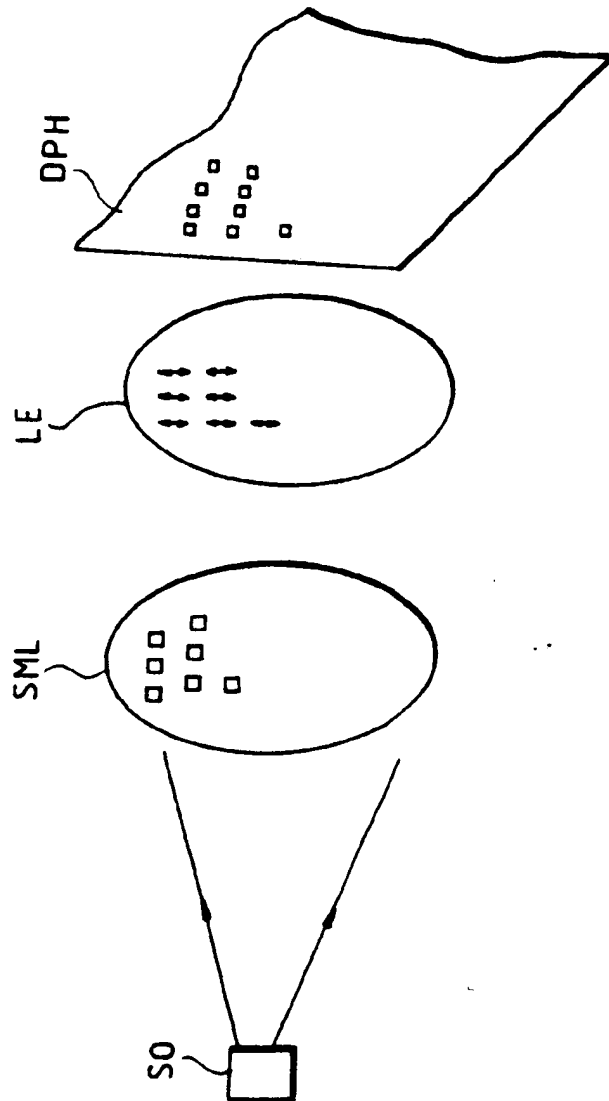


FIG. 10

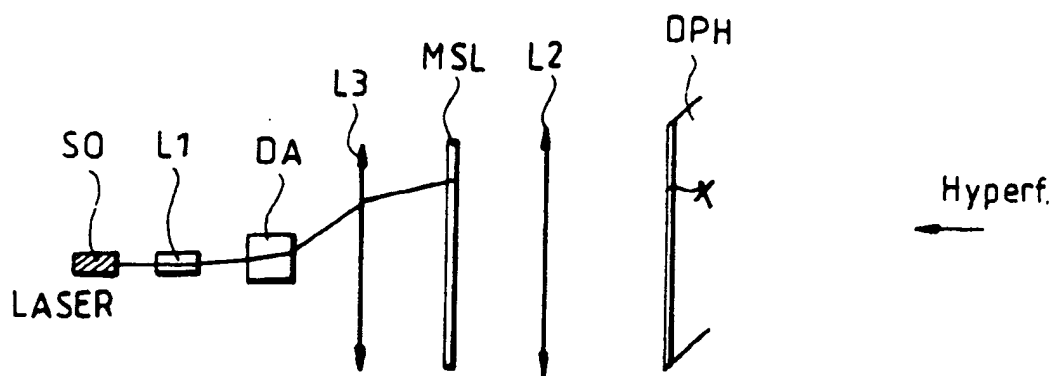


FIG.11

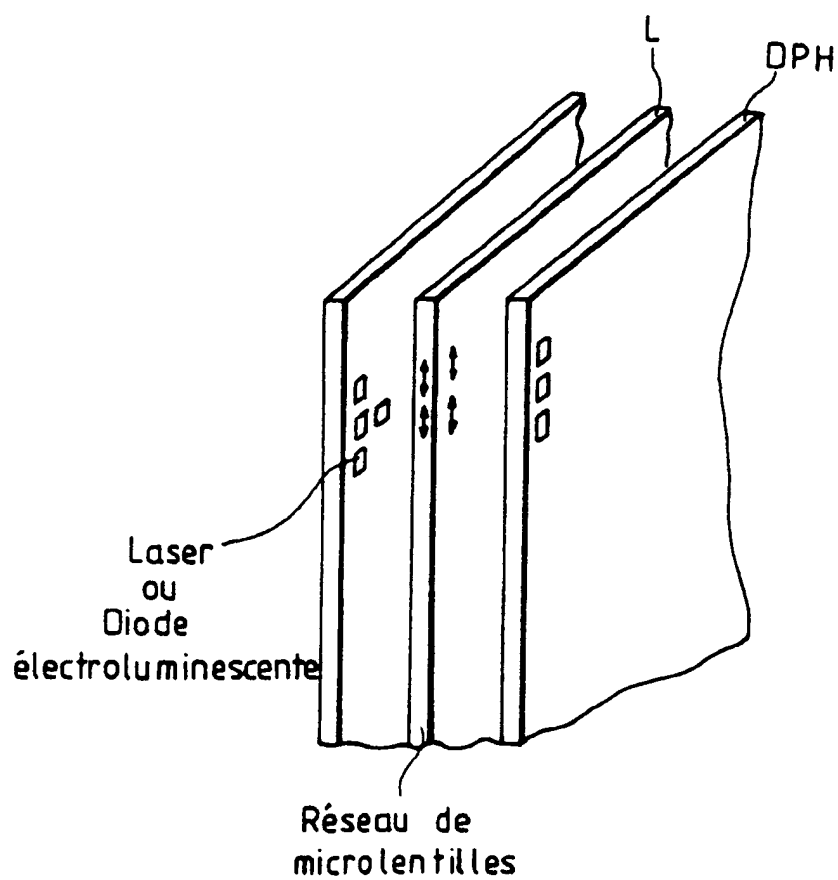


FIG.12



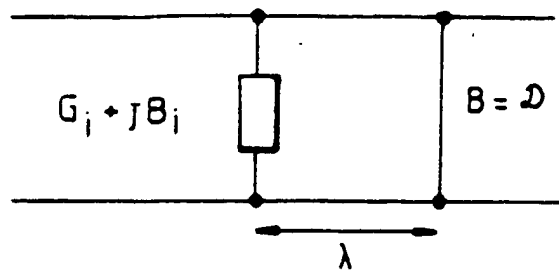


FIG.13a

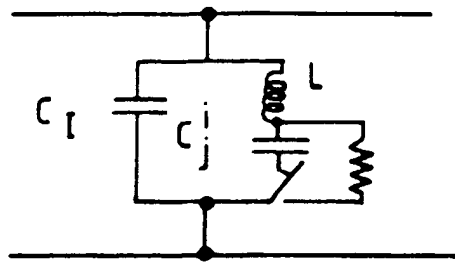


FIG.13b

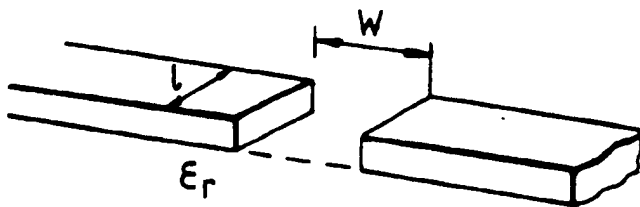


FIG.13c

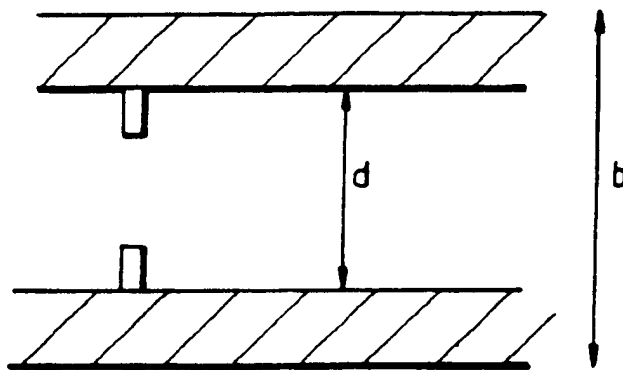


FIG.13d

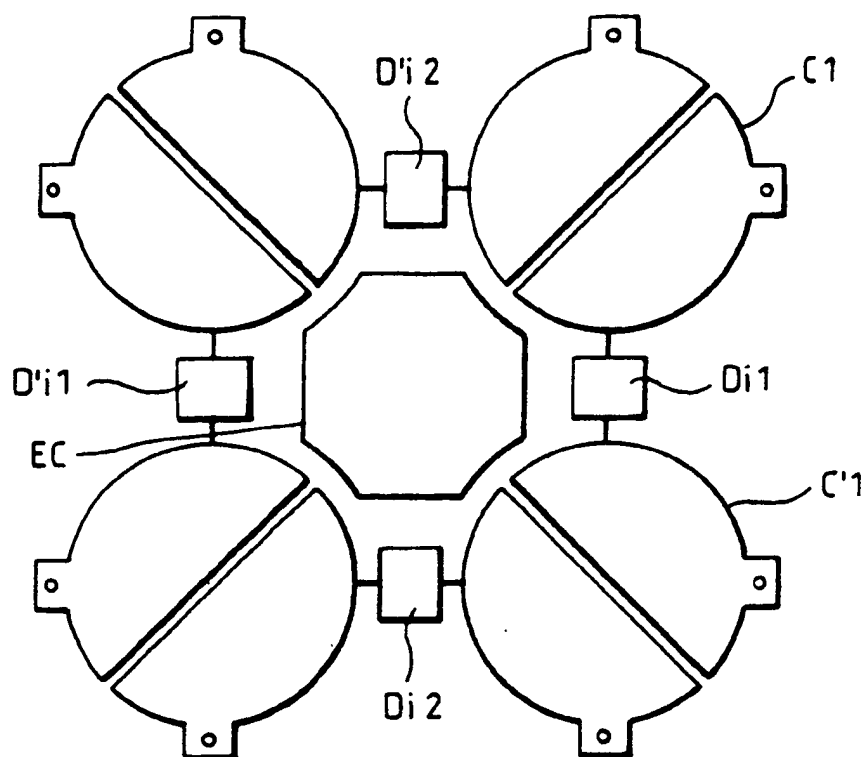


FIG.14

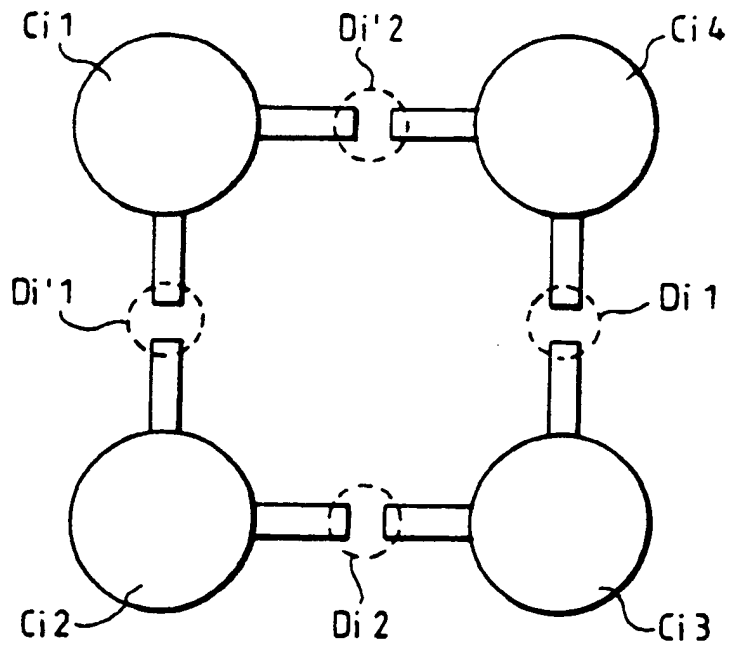


FIG. 15

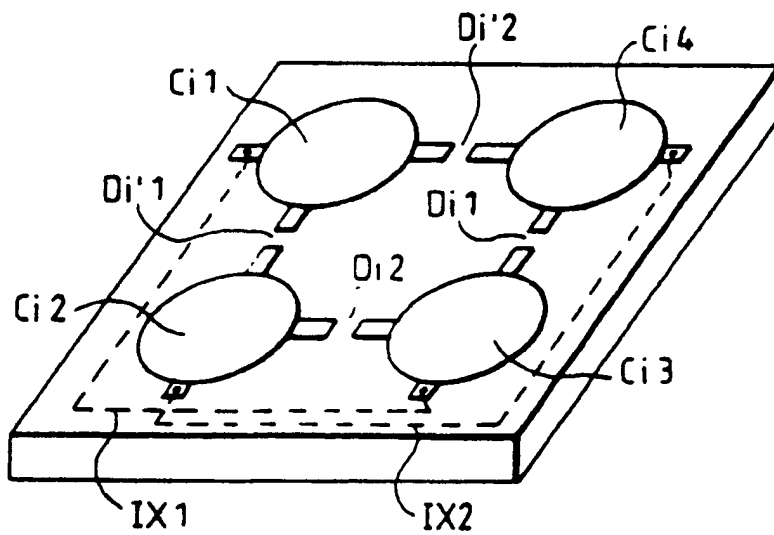


FIG. 16



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 93 40 2667

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.5)
Y	MICROWAVE JOURNAL. vol. 24, no. 9, Septembre 1981, DEDHAM US pages 101 - 105 PARK 'Radant Lens: Alternative to Expensive Phased Arrays' * page 101; figure 1 * ---	1,14	H01Q3/46 H01Q3/26
Y	1990 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST vol. I, Mai 1990, DALLAS, TEXAS pages 233 - 236 JEMISON ET AL. 'OPTICAL CONTROL OF A DIGITAL PHASE SHIFTER' * page 233 - page 234; figure 1 * ---	1,14	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 6, no. 200 (E-135)(1078) 9 Octobre 1982 & JP-A-57 107 607 (TOKYO SHIBAURA) * abrégé * ---	1,14	
A	US-A-3 979 750 (SMITH) * le document en entier * ---	1,14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5) H01Q
A	EP-A-0 248 686 (THOMSON-CSF) * abrégé; figures 1-5 * -----	1,14	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13 Décembre 1993	Examinateur Angrabeit, F
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1500 (02.92) (P04/C02)